

**НАДЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИКИ НАСЫЩЕННОСТИ КАК ОСНОВА
ЭФФЕКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОГО ОБЪЕКТА**

© 2016 М.А.Токарев, Ю.В. Зейгман, В.Ш. Мухаметшин,
Ю.А. Котенев, Ш.Х. Султанов, Н.М. Токарева

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Статья поступила в редакцию 13.12.2016

В статье описано развитие методов контроля за нефтенасыщенностью пластов путем проведения электрокаротажа в скважинах, оборудованных электронепроводящими стеклопластиковыми обсадными колоннами, а также электронепроводящими обсадными колоннами с дискретной проводимостью. Приведены результаты внедрения технологии на Ромашкинском, Самотлорском, Арланском месторождениях. Указан способ выбора количества контрольных скважин для надежного мониторинга нефтенасыщенности объекта.

Ключевые слова: геофизические исследования, обсадные трубы, нефтенасыщенность, электрический каротаж.

Мониторинг насыщенности продуктивных пластов гигантских нефтяных месторождений, таких как Ромашкинское, Арланское, Самотлорское, представляет важную теоретическую и практическую задачу. Значительное количество остаточных запасов по этим месторождениям находятся в рассеянном виде и в постоянно изменяющемся состоянии. Происходит их переформирование и гравитационная сегрегация [1,2,3].

На ранних стадиях разработки крупных месторождений большие перспективы оценки насыщенности возлагались на методы радиометрии, но опреснение пластовых вод при интенсивной системе заводнения, малая глубинность исследований обусловили их низкую эффективность при оценке динамики насыщенности пластов [3,4].

Ввиду названных обстоятельств возникли идеи разработать конструкцию обсадных колонн, позволяющих применить высокоинформативные

методы электрометрии для контроля за динамикой нефтенасыщенности пластов. В настоящее время в УГНТУ разработано и внедрено несколько специальных обсадных колонн, позволяющих проводить замеры с помощью электрометрии [5, 6, 7]. Основой всех конструкций является электронепроводящая обсадная труба с включением электропроводящих элементов. Для практического внедрения предложенных технологий было проведено большое количество экспериментальных исследований по оснастке специальных обсадных труб и возможности интерпретации результатов проведенных в них замеров [3].

Первое запатентованное предложение УНИ предполагало применение стеклопластиковых электронепроводящих обсадных труб с электропроводящими элементами [5]. В эти же годы американским нефтяником Г.М. Гроссманом запатентована конструкция специальных обсадных труб для проведения электрокаротажа. Созданная и испытанная нами в дальнейшем модель конструкции Г.М. Гроссмана показала ее неработоспособность, а примеры реализации данной конструкции в промышленности неизвестны [3].

Реализация первого патента [5] долгое время была невозможна ввиду отсутствия достаточно прочных стеклопластиковых обсадных труб. Альтернативой первому патенту явилась предложенная обсадная металлопластмассовая труба с электропроводящими элементами ОМПТ [6]. В обсадных трубах данной конструкции можно проводить низкочастотную электрометрию – боковой каротаж (БК) и боковое каротажное зондирование (БКЗ). При этом глубинность исследований на порядок выше, чем для методов радиометрии, отсутствуют ограничения по минерализации пластовых вод.

Перед промышленным внедрением ОМПТ был проведен полупромышленный эксперимент.

Токарев Михаил Андреевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений».

E-mail: tma40@uandex.ru

Зейгман Юрий Вениаминович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений».

E-mail: jvzeigman@ua.ru

Мухаметшин Вячеслав Шарифуллович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений».

E-mail: vsh@of.ugntu.ru

Султанов Шамиль Ханифович, доктор технических наук, профессор кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений». E-mail: ssultanov@mail.ru

Котенёв Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений».

Токарева Надежда Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений»

Для эксперимента была пробурена скважина на территории УНИ и спущена ОМПТ на основе НКТ. Глубина скважины и длина ОМПТ составляла 25 метров. Успешное проведение полупромышленного эксперимента позволило обратиться к руководству НК «Татнефть» за разрешением на проведение промышленного эксперимента [3].

Для проведения этого было выбрано НГДУ «Альметьевнефть». Все оборудование было изготовлено в г. Альметьевске, в основном на базе ЦБПО НГДУ «Альметьевнефть». Изготовленные в НГДУ ОМПТ были успешно внедрены на 8-й залежи Березовской площади Ромашкинского месторождения на скважине 17429.

В скважине 17429 в интервале бобриковских и тульских отложений было проведено более 10 исследований БКЗ. Полученные данные впервые в мировой практике позволили изучить процесс расформирования зоны проникновения [8,9].

Результаты промышленного эксперимента на месторождении республики Татарстан заинтересовали руководство объединения «Самотлорнефть». Специальные обсадные трубы производства НГДУ «Альметьевнефть» были успешно использованы в НГДУ «Белозернефть». В скважине 4132 Самотлорского месторождения интервал 1786-1810 метров пласта АВ₄₋₅ был перекрыт ОМПТ. Проведение серии замеров БКЗ позволило изучить динамику насыщенности в переходной зоне и чистонефтяной зонах продуктивного пласта [10].

Для универсального использования контрольных скважин, оборудованных ОМПТ была разработана и запатентована конструкция специального контактного зонда (патент № 2073892) [11]. Применение таких зондов позволяет проводить боковое каротажное зондирование в перфорированной скважине. Таким образом, контрольная скважина становится контрольно-эксплуатационной.

Позже у буровиков появилась возможность заказа и использования в качестве обсадной колонны электронепроводящих стеклопластиковых труб (СПТЭО) с формированной муфтовой резьбой на раструбе и нарезанной ниппельной резьбой, выпускавшихся заводом «Азерэлектроизолит» в г. Мингечаури АзССР. Впоследствии данный тип труб был применен для целей контроля за процессами выработки запасов нефти.

Для повышения эффективности использования специальных обсадных труб был разработан и запатентован способ селективного вскрытия продуктивного пласта, который позволяет оценить степень нефтенасыщенности интервалов многопластового объекта с целью их дальнейшего избирательного вскрытия [7]. Основа данной конструкции специальных обсадных труб полностью состояла из стеклопластиковых труб. В таких трубах можно было проводить как низкочастотные замеры (БКЗ, БК), так и высоко-

частотные замеры индукционного каротажа (ИК).

Необходимость применения комплекса методов электрометрии обусловлена двумя основными причинами. Во-первых, при исследовании пласта и призабойной зоны появляется несколько неизвестных, для определения которых в математическом смысле необходимо составить несколько уравнений, что возможно при применении бокового каротажного зондирования БКЗ.

Во-вторых, все методы электрометрии обладают разными разрешающими способностями. Методу бокового каротажного зондирования нет альтернативы как по глубинности исследования, возможности оценить состояние призабойной и удаленной зоны пласта, так и по возможности проведения исследований в широком диапазоне удельных электрических сопротивлений пласта.

Внедрение данной конструкции для проверки возможности оценки насыщенности продуктивного пласта методом электрометрии произведена на основе обработки геофизического материала по скважине № 6939 Николо-Березовской площади Арланского месторождения, геологические условия в районе данной скважины можно считать весьма типичными. Диаметр скважины составляет 216 мм. Исследовался интервал 1252 - 1377 метров. Колонна длиной 25 м, скомпонованная из стеклопластиковых труб с дискретными электропроводящими элементами была закреплена в интервале 1280 - 1305 м в.

Результаты многократных геофизических исследований с помощью всех видов электрометрии полностью подтвердили возможность мониторинга насыщенности пласта [12].

Весьма важным является бурение контрольной скважины 822Д на Абдрахмановской площади Ромашкинского месторождения, интервал терригенного девона в которой был перекрыт специальной обсадной колонной, позволяющей проводить БКЗ, БК и ИК. Скважина 822Д была пробурена 29.01.2002 г., пашийские отложения в интервале 1840-1883 м были перекрыты обсадными стеклопластиковыми трубами с дискретной проводимостью конструкции УГНТУ [5]. Было проведено несколько комплексов геофизических исследований с помощью ИК, БК, БКЗ. Результаты исследований поддаются количественной интерпретации и показывают динамику изменения удельного электрического сопротивления (УЭС) по выделенным пластам, результаты которой хорошо согласуются как с данными высокочастотной электрометрии ИК, так и с данными низкочастотной электрометрии БК, БКЗ.

Наиболее интенсивное изменение УЭС происходит в пластах, залегающих в интервалах 1854-1854,5 м и 1861,2-1862,8 м. По данным всех методов электрометрии сохраняется постоянное УЭС пласта в интервале 1849,2-1852,7 м.

Данный метод является универсальным способом контроля за текущей нефтенасыщен-

ностью и распределением остаточных запасов на поздней стадии разработки. Комплексная интерпретация результатов исследования позволит решить вопросы метрологии и традиционных методов контроля - ИННК и ИНГК, а также вопросы оценки скорости переформирования насыщенности в выработанных зонах пласта [13].

Одновременно с внедрением методов контроля с применением специальных обсадных труб конструкции УНИ-УГНТУ учеными ВНИИ-Нефтепромгеофизика проводилось внедрение стеклопластиковых обсадных труб [4].

Данная конструкция позволяет проводить временные замеры с помощью индукционного каротажа ИК. Глубинность методов ИК не менее одного метра, что позволяет исследовать как контрольные, так и контрольно-эксплуатационные скважины. На Арланском месторождении такими трубами оборудовано около 30 добывающих скважин. Нами была проведена комплексная интерпретация исследований скважин, обсаженных стеклопластиковыми хвостовиками (СПХ) на Николо-Березовской площади Арланского месторождения [14, 15, 16, 17].

Результаты временных замеров ИК сводились в геофизический планшет, при их интерпретации использовались следующие методические приемы:

- вокруг контрольной скважины выделялся участок с окружающими добывающими скважинами; по нему строился график разработки; по каждой скважине также строился график эксплуатации;

- по всем скважинам участка прослеживалась динамика плотности добываемой воды, далее строился результирующий график динамики плотности воды по всему опытному участку с пересчетом на удельное электрическое сопротивление воды ρ_e ;

- для учета гидродинамических условий использовались карты изобар по верхней и нижней пачкам ТТНК.

Всего было построено 12 графиков разработки по опытным участкам и 213 графиков эксплуатации по скважинам за период с 1985 по 2004 год. График разработки по группе окружающих скважин показывает интегральную характеристику динамики показателей разработки опытного участка. Графики эксплуатации окружающих скважин показывают дифференциальную характеристику динамики показателей разработки.

Анализ карт изобар позволяет оценить направление линий тока, градиенты давлений, положение нейтральных линий тока, возможное положение застойных зон.

Совместное рассмотрение результатов серии замеров электрометрии в обсаженной скважине с графиками разработки опытного участка, эксплуатации окружающих скважин, гидродинамическими данными и с учетом динамики

удельного сопротивления воды позволило более обоснованно проводить интерпретацию результатов ГИС [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ исследований ИК по восемнадцати скважинам за более чем 10 лет позволяет сделать вывод, что истощение какого-либо объекта в какой-либо скважине не может быть признаком истощения его по площади на том или ином участке. Из-за сложности геологического строения между скважинами всегда остаются зоны с трудноизвлекаемыми запасами, застойные и тупиковые зоны, имеющие худшие коллекторские свойства. Эти зоны сохраняют внутрислоевого давление и в разработке не участвуют. Часть пласта с хорошими фильтрационно-емкостными характеристиками многократно промывается закачиваемыми водами и имеет геостатическое давление. Если по каким-либо причинам геостатическое давление становится меньше внутрислоевого, то застойные и тупиковые зоны становятся зоной питания истощенной части пласта. При этом K_n возрастает. Такое явление наблюдалось скважине № 10248 и др [14, 15, 16, 17].

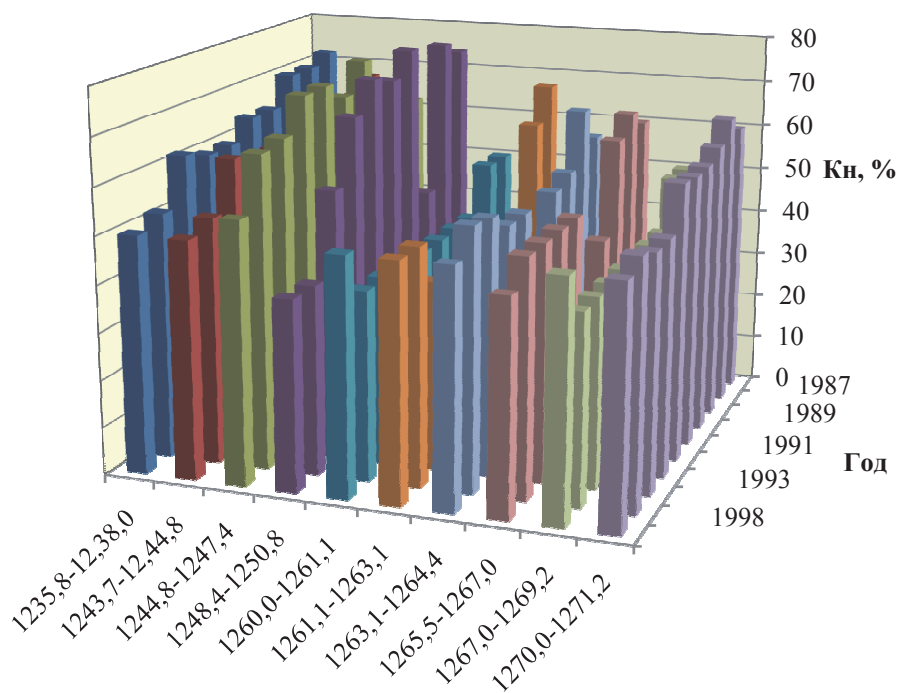
По промысловой обстановке все скважины с СПХ можно разделить на следующие группы:

I. Группа скважин, в которых продуктивные пласты имеют остаточную нефтенасыщенность.

На рис. 1 по скважине с СПХ №1802 показана динамика изменения насыщенности по десяти геофизическим и шести литологическим интервалам ТТНК. Остаточная нефтенасыщенность по отдельным геофизическим интервалам находится в пределах от 50 до 40%. Учитывая сложное строение участка и возможное наличие подвижной нефти можно рекомендовать ее доизвлечение. Основным и достаточно трудоемким способом доизвлечения может быть комплексная технология, заключающаяся в отключении наиболее обводненных пластов (различные вариации потокоотклоняющих технологий) и использование в процессе ППД – ПАВ слабой концентрации, что позволит увеличить коэффициент вытеснения.

II. Добывающие скважины с СПХ, продуктивные пласты которых промышленно нефтенасыщены

На рис. 2 по скважине 171А показана динамика текущей нефтенасыщенности по пяти геофизическим и четырем литологическим интервалам. В литологическом интервале 1487,0 – 1505,8 текущая нефтенасыщенность равна остаточной. В литологическом интервале 1478 – 1487 текущая нефтенасыщенность по двум геофизическим интервалам 1478,0 – 1485,0 и 1485,0 – 1487,0 на 2001 год соответственно равна 74 и 82% и за одиннадцать лет разработки снизилась соответственно на



Интервал исследования

Рис. 1. Результаты временных замеров текущей нефтенасыщенности с помощью ИК для различных пластопересечений в продуктивном пласте контрольной скважины №1802 Николо-Березовской площади

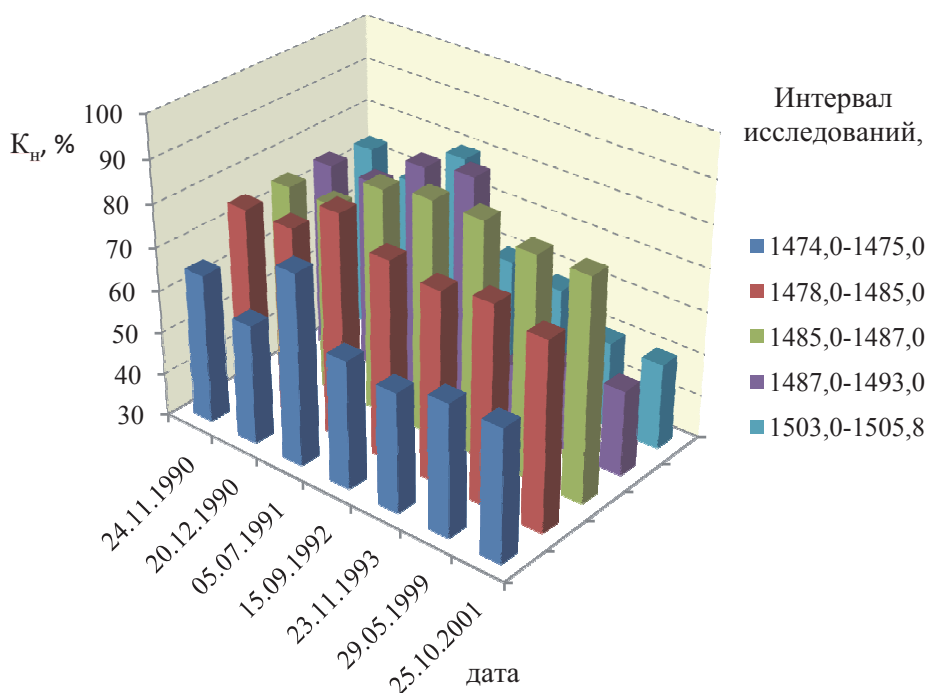


Рис. 2. Результаты временных замеров текущей нефтенасыщенности с помощью ИК для различных пластопересечений в продуктивном пласте контрольной скважины №171А Николо-Березовской площади

4 и на 2 пункта. По верхнему литологическому интервалу 1474 – 1475 м. за время разработки текущая нефтенасыщенность снизилась на 15 пунктов и в настоящее время составляет 61%. Таким образом, интервал 1478 – 1487 метров не вырабатывается, а его интенсификация возможна

путем бурения боковых стволов.

При рассмотрении возможности применения специальных скважин для контроля за разработкой возникает вопрос о необходимом их количестве. Данная проблема решалась с помощью задачи о наименьшем покрытии графа.

Таблица 1. Число контрольных скважин для залежей с различной геолого-физической характеристикой и различными запасами, %

Характеристика объектов	Запасы, млн.т		
	<5	5-20	20-100
Относительно однородные с маловязкой нефтью	18 (18)	12 (9)	10 (6)
Относительно неоднородные с высоковязкой нефтью	20 (20)	14 (11)	12 (7)
Весьма неоднородные с высоковязкой нефтью	30 (30)	20 (18)	16 (14)
Примечание. В скобках число одновременно работающих контрольных скважин, %			

Проведенный графо-аналитический анализ показал, что наибольший процент контрольных скважин необходим на объектах с небольшими запасами. С увеличением запасов по объектам разработки процент контрольных скважин будет уменьшаться до стабилизации этого значения для крупных месторождений. Для небольших месторождений число одновременно работающих контрольных скважин равно числу всех контрольных, а для средних и крупных составляет часть этого числа (табл. 1).

Так как практически ввод требуемого числа контрольных скважин всегда будет затруднен, то при подходящих геологических условиях необходимо иметь контрольно-эксплуатационные скважины, а иногда использовать в качестве контрольных эксплуатационные скважины, в которых достигнуто динамическое равновесие флюидов в пласте и в скважине в результате полной перфорации и освоения водоносной, переходной и нефтеносной зон.

Для полного решения проблем контрольных скважин необходимо иметь также контрольно-эксплуатационные скважины, которые могут служить контрольными и эксплуатационными на один и тот же пласт одновременно [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеющиеся в настоящее время технико-технологические разработки с использованием специальных обсадных труб позволяют проводить мониторинг насыщенности продуктивного пласта на любых стадиях разработки

Количество скважин со специальной оснасткой для подобного мониторинга составляет незначительный процент от общего числа добывающих скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якунов Р.Ф., Мухаметшин В.Ш. Вопросы эффективности разработки низкопродуктивных карбонатных коллекторов на примере Турнейского яруса Туймазинского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2013. № 12. С. 106-110.
2. Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.В. Обоснование соот-

ветствия систем заводнения особенностям геологического строения залежей // Нефтепромысловое дело. 2009. № 5. С. 10-12.

3. Токарев М.А. Комплексный геолого-промысловый контроль за текущей нефтеотдачей при вытеснении нефти водой. М.: Недра, 1990. 267 с.
4. Дворкин В.И. Геофизический мониторинг разработки нефтяных пластов, обсаженных стеклопластиковыми трубами. Уфа, 2001. 197 с.
5. А.с. 206475 СССР, МКИ Е 21 В. Обсадная труба для нефтяных и газовых скважин / Шаховкин В.М. Оpubл. 08.12.67. Бюл. № 1, 1968.
6. Патент 1038913 СССР, МКИ G 01 V 3/18. Способ определения электрического сопротивления пласта / Токарев М.А., Спивак А.И., Шевкунов Е.Н., Шаховкин В.М. Оpubл. 09.12.93, Бюл. № 32.
7. Патент 2061852 РФ, МКИ 6 Е 21 В 43/11. Способ селективного вскрытия продуктивного пласта / Токарев М.А., Сыртланов А.Ш., Янгирова И.З. Оpubл. 10.06.96, Бюл. № 16. Патентообладатель Токарев М.А.
8. Способ оценки насыщенности пласта / Р.Г. Галеев, М.А. Токарев, И.А. Ткаченко, Н.Ш. Хайретдинов // Нефтяное хозяйство. 1980. № 4. С. 31-36
9. Промышленный эксперимент по контролю за нефтеотдачей с помощью электрокаротажа в специальной стальной колонне / Р.Х. Муслимов, М.А. Токарев, В.М. Шаховкин, Е.Н. Шевкунов, Э.М. Халиков // Нефтегазовая геология и геофизика. 1980. № 9. С. 29-31.
10. Проведение электрокаротажа в обсаженной скважине на Самотлорском месторождении / М.А. Токарев, В.У. Литваков, В.Г. Сафин и др. // Проблемы нефти и газа Тюмени: НТС. ЗапсибНИГНИ. Тюмень, 1983. Вып. 59. С. 3-5.
11. Патент №2073892. Зонд для электрического каротажа скважин / Токарев М.А., Спивак А.И., Забиров Ф.Ш., Шаховкин В.М. и др. Зарегистрировано 20 февраля 1997 г. Бюл. №5.
12. Токарев М.А., Исхаков И.А., Асмоловский В.С. Контроль за разработкой месторождений с помощью комплекса геофизических исследований. Нефтяное хозяйство, 2002, № 4, с.47-50
13. Хисамов Р.С., Файзуллин И.Н., Токарев М.А. Новые возможности контроля за распределением остаточных запасов и динамикой насыщенности пласта с помощью электрометрии в обсаженной скважине // Нефтяное хозяйство. 2004. № 7. С.52-57.
14. Имамов Р.З., Токарева Н.М. Использование скважин со стеклопластиковыми хвостовиками для оценки динамики насыщенности пласта и регулирования разработки // Нефтяное хозяйство. 2009. № 7. С. 90-93.
15. Токарева Н.М. Контроль за выработкой продук-

- тивного пласта при систематических замерах с помощью электрометрии в специальных обсадных трубах СПХ // Сборник тезисов докладов третьей международной конференции молодых ученых и студентов «Новые направления исследований в науках о Земле». Баку: Нафта-Пресс, 2009. С.134-135
16. Токарева Н.М. Управление процессом разработки с помощью «интеллектуальных» скважин // Сб. научных трудов второй Всероссийской научно-практической конференции Западно-Сибирского общества молодых инженеров-нефтяников при Тюменском государственном нефтегазовом университете «Современные технологии для ТЭК Западной Сибири». Тюмень, 2008. С. 58-61
17. Применение геофизических методов исследования скважин для оценки фильтрационно-емкостных свойств пластов, контроля и регулирования разработки: монография / Н.М. Токарева, А.М. Осипов, М.А. Токарев, Л.И. Акмадиева, Г.М. Токарев [под ред. проф. М.А. Токарева]. Москва: Наука: информ; Воронеж: ВГПУ, 2014. 108 с.
18. Токарева Н.М., Акмадиева Т.Р., Токарев М.А. Выбор количества и оснастки контрольных скважин для регулирования процесса разработки нефтяных месторождений // Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12 №1.

RELIABLE CONTROL DYNAMICS DARKER AS THE BASIS FOR EFFECTIVE REGULATION OF PETROLEUM DEVELOPMENT FACILITY

© 2016 M.A. Tokarev, Y.V. Zeygman, V.S. Mukhametshin,
Y.A. Kotenyov, Sh.Kh. Sultanov, N.M. Tokareva

Ufa State Petroleum Technological University

It has been a problem of oil saturation control layers at later stages of development, as well as in production wells. Radioactive research methods have a low depth and significant restrictions in the use for oil reservoirs with low-mineralized formation waters. Electric log is not applicable in the wells cased with metal pipes. The compromise reached in the implementation of the special operation of electrically non-conductive casing pipes and electrically non-conductive casing with a discrete conductivity. Their use is possible to carry out the whole range of research in electric logging cased wells. Industrial experiments and implementation of this technology on the giant fields of the Russian Federation - Romashkinskoye, Arlan, Samotlor showed high information obtained oil saturation monitoring results, which were subsequently used in order to intensify the development of productive strata. Thus, now it is possible to monitor the formation of oil saturation at any stage of development, while the share of specially equipped monitoring wells is a small percentage of the general fund of the object wells (6-20%).

Keywords: geophysical surveys, casing pipe, oil saturation, electric logging.

Mikhail Tokarev, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Development and Exploitation of Oil and Gas Fields Department. E-mail: tma40@yandex.ru

Yuriy Zeigman, Doctor of Technical Sciences, Professor, at the at the Development and Exploitation of Oil and Gas Fields Department. E-mail: jvzeigman@ya.ru

Vyacheslav Mukhametshin, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the at the Development and Exploitation of Oil and Gas Fields Department. E-mail: vsh@of.ugntu.ru;

Yuriy Kotenev, Doctor of Technical Sciences, professor, head at the Geology and Exploration of Oil and Gas fields Department.

Shamil Sultanov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Geology and Exploration of Oil and Gas Fields Department. E-mail: ssultanov@mail.ru

Nadezhda Tokareva, Candidate of Technics, Associate Professor at the Development and Exploitation of Oil and Gas Fields Department.